

# 新富良野大橋 A 橋の施工

## — 厳冬期の張出し施工と生産性向上の取組み —

菊地 和彦\*1・山崎 勲\*2・森山 公雄\*3・坪倉 辰雄\*4

新富良野大橋は、北海道中央部の富良野市に位置し、空知川に架かる全長 619 m の新設橋梁である。橋梁形式は PC 8 径間連続箱桁橋で、有効幅員 12.0 m、最大桁高 4.8 m の橋梁を移動作業車による張出し架設工法で架設した。本工事の特徴として、① 2018 年度の冬期最低気温が -28℃まで低下した極寒の環境下での張出し施工、② 工事範囲の大部分が河川敷地内であるという環境要因に加えて、③ 今後予想される技術者・技能者不足対策のために積極的に生産性向上に取り組んだ点をあげる。取り組んだ生産性向上の事例としては、柱頭部工での補強 PC 鋼材配置、張出し施工での橋面・型枠自動計測技術の開発、中央閉合での移動作業車の使用と 2 箇所同時施工、仮支承での放電破砕工法の採用などである。本稿では、工種ごとの施工方法を説明するとともに、工事の特徴に起因する課題と解決策および実施した生産性向上の取組みについて報告する。

キーワード：寒中コンクリート、自動計測技術、中央閉合同時施工、放電破砕

### 1. はじめに

旭川十勝道路は、旭川市を起点とし、富良野市を経由して占冠村に至る延長約 120 km の地域高規格道路である。このうち、中富良野町から富良野市に至る延長 5.7 km の富良野北道路区間において、高速ネットワークの拡充による上川圏と十勝圏の連絡強化、地域間交流の活性化および物流効率化の支援、富良野市街における交通混雑の緩和などを目的に現在事業が行われている（図 - 1）。



図 - 1 位置図

新富良野大橋は富良野北道路区間に位置し、空知川に架かる全長 619 m の橋梁である。橋梁形式は PC 8 径間連続箱桁橋で、有効幅員 12.0 m、最大桁高 4.8 m の橋梁を移動作業車による張出し架設工法で架設した。上部工は A 橋・B 橋に工区が分割されており、本工事では起点側 4.5 径間（施工範囲 348 m）を A 橋工区として施工した。なお、B 橋工区についても同時期に施工が進んだ。

### 2. 工事概要

本工事の工事概要を表 - 1 に、側面図・平面図を図 - 2 に、断面図を図 - 3 に示す。本工事では P1 橋脚～P4 橋脚まで橋脚が完成した状態で引渡しを受け、支承工および仮固定工から施工を開始した。そののち柱頭部工・張出し施工・側径間施工・中央閉合施工の順番に施工を進め、最後に地覆壁高欄などの橋梁付属物工の施工を行った。次項より、工種ごとの施工方法及び各種の取組みについて記載する。

表 - 1 工事概要

工事名	旭川十勝道路 富良野市 新富良野大橋 A 橋上部工事
発注者	北海道開発局 旭川開発建設部
工事場所	北海道富良野市清水山地区内
工期	2017.10.19～2020.2.25
橋梁形式	PC 8 径間連続箱桁橋（施工範囲：4.5 径間）
橋長	619 m（内、A 橋工区：348 m）
有効幅員	12.0 m
桁高	4.8 m～2.6 m
平面線形	曲率半径 R=1 600 m、斜角 A1：θ=90° A2：θ=70°
支間長	66.8 m + 6@80.5 m + 66.5 m （内、A 橋工区 66.8 m + 3@80.5 m + 38.5 m）
横断勾配	2.0%
架設工法	移動作業車による張出し架設工法
PC 鋼材	主方向 12S12.7 横方向 1S28.6
定着工法	主方向 DW 工法 横方向 SM 工法

\*1 Kazuhiko KIKUCHI：北海道開発局 旭川開発建設部

\*2 Isao YAMAZAKI：北海道開発局 旭川開発建設部 富良野道路事務所

\*3 Kimio MORIYAMA：(株)大林組 新富良野大橋工事事務所

\*4 Tatsuo TSUBOKURA：(株)大林組 新富良野大橋工事事務所

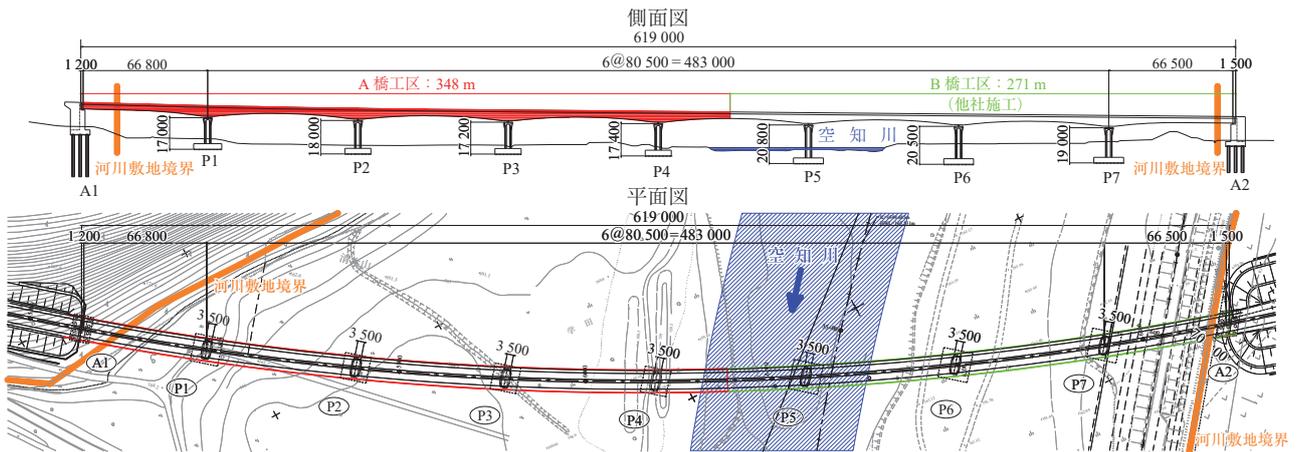


図 - 2 側面図・平面図

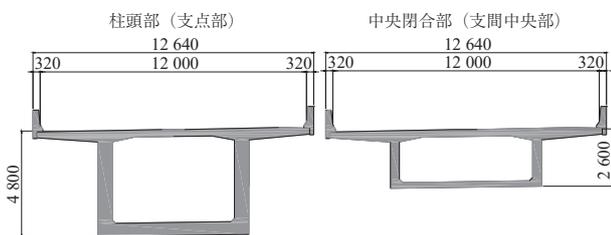


図 - 3 断面図

### 3. 柱頭部工

#### 3.1 概要

本橋の柱頭部は、中型移動作業車を左右に2基組み立てるスペースを確保するため、橋軸方向に12mの長さで設計されていた。通常、柱頭部の構築では、橋脚から張り出された柱頭部コンクリートの全荷重を支持するための大型のブラケットを橋脚に設置し、そのブラケット上に軽量支保工を組み立てる(写真-1)。ブラケットの固定方法には、①橋脚内を貫通して配置されたPC鋼棒でプレストレスを与えて摩擦力で固定する方法と、②橋脚に設置されたアンカーで固定する方法がある。本橋は後者の方法により、下部工が完成した状態で引渡しを受けたため、既設橋脚に埋め込まれていたアンカーを用いて柱頭部ブラケット支保工を構築した。

支保工設置後、型枠・鉄筋・PCを組み立ててコンクリー



写真 - 1 柱頭部施工状況

トを打ち込んだ。柱頭部コンクリートはマスコンクリートとなるため、温度ひび割れの発生が懸念された。そのためコンクリートの配合は、事前に実施した温度応力解析の結果を基に、普通セメントに膨張材を添加した「40-12-20N(膨張材配合)」とした。また、桁高4.8mの柱頭部コンクリートを2ロットに分割して施工した(図-4)。

#### 3.2 補強PC鋼材による生産性向上

工事受注後、施工計画時に支保工重量が増加したため、アンカー本数が不足することが判明した。河川の河積阻害率の制約から支柱式支保工への変更が困難であったため、①あと施工アンカーの増打ちで柱頭部ブラケットを補強する対策と、②ブラケットに載荷される柱頭部コンクリート荷重を低減する2つの対策を検討した。検討の結果、本工事では後者を選択することとし、柱頭部1ロット天端付近

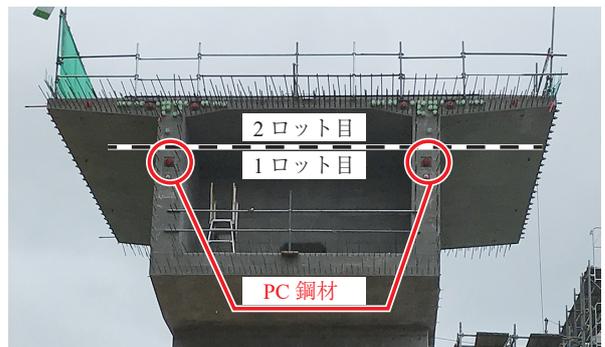


写真 - 2 補強 PC 鋼材配置状況

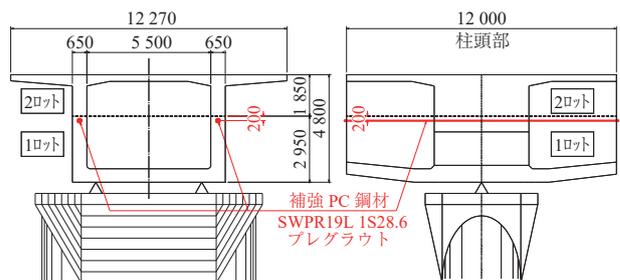


図 - 4 補強 PC 鋼材配置図

にPC鋼材（1S28.6：2本）を追加配置した。追加配置した補強PC鋼材は1ロット施工後にプレストレスを導入し、柱頭部1ロットで2ロット荷重を支える計画とした（写真-2、図-4）。その結果、ブラケットに作用するコンクリートの荷重は1ロット分の荷重のみとなり、当初計画から半減するため、アンカーに作用する引抜力・せん断力を同様に半減させることができ、当初ブラケット支保工のアンカー本数のままで必要な耐力を確保して施工を進めることができた。あと施工アンカー増打ちの回避により生産性が向上するとともに、下部工の品質に配慮しつつ、安全性も高めることができた。なお、補強PC鋼材の導入プレストレス力については、2ロット目のコンクリート荷重により発生する引張応力度を打ち消す程度とした。

## 4. 張出し施工

### 4.1 概要

張出し架設工法は、1つの橋脚に移動作業車を2基据え付け、1ブロック（以下BL）につき3m～5mずつ躯体を構築し、移動作業車を両端に張り出していく工法であり、本橋のように支間長が長い橋梁や桁下空間に制約がある橋梁に適用される。本橋の張出しBL数は全橋脚で10BLとなっており、4基の中型移動作業車を用いて、2橋脚同時の張出し施工を行った。後述する中央閉合の施工順序を考慮して、P1橋脚とP3橋脚を先行施工し、そののちP2橋脚とP4橋脚に移動作業車を転用した（写真-3）。張出し施工のコンクリートの配合は、コンクリート打込み後2日目の緊張作業が可能となるよう早強セメントを用いた「40-12-20H」とした。当現場の施工条件・環境条件から想定された張出し施工時における特徴を以下に2点示す。

#### (1) 河川区域内での寒中コンクリート施工

本橋の施工場所である富良野市は北海道の中央部に位置しており、十勝岳をはじめとした山岳地帯に周囲を囲まれた盆地である。冬期の気温は、過去30年の1月の平均気温で-9℃まで低下し、最低気温では-30℃を下回る年もあった。このような極寒の環境下において通年で施工を実施することとなるため、寒中コンクリートへの対応が必須であった。また、図-2に示すとおり工事場所の大半は空知川の河川敷地内であり、給熱養生で使用する灯油やレイタンス処理水などの工事で発生する排水の河川への流出を避ける必要があった。

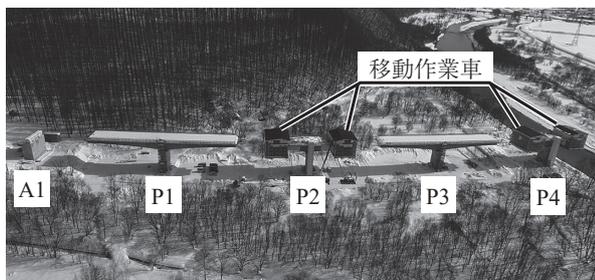


写真-3 張出し施工状況

#### (2) 橋面高さ管理と型枠高さ計測

張出し施工は一般的に施工するBL数が多く、それに比

例してサイクル化した橋面高さ管理や型枠セットなどに関する測量業務が多くなる。具体的には、毎BL発生する緊張・移動作業車の移動・コンクリート打込みなどの作業によって変化した主桁の高さを作業ごとに測量し、実変位と計画値との間に差異が認められた場合はその差をフィードバックして次BLの型枠セット高さに反映させていく。張出し施工の期間、施工管理者は測量業務に追われているのが現状である。

本工事においても、施工BLが起点側と終点側で合せて80BL存在するため、多大な測量業務による施工管理者の負担増大が予想された。また、冬期における主桁測量業務は、その都度橋面を露出させるまで除雪を行う必要があり、過去30年の平均年間降雪量が約700cmに達する豪雪地帯で施工する本工事においては、さらに負担が増大することが予想された。

### 4.2 河川区域内での寒中コンクリート施工

工事初期段階で全体工程の見直しを行い、柱頭部工・側径間施工・中央閉合施工・地覆壁高欄工については、寒中コンクリートを避けて施工する工程に変更した。夏期間中の工程が密になり工事の繁忙度合いに差が生じたものの、技術者・技能者の人員計画を再考することで調整を行った。また、安全・品質・経済性でリスクの高い冬期の施工を低減でき、不具合の防止に繋げることができた。次に、通年施工となる張出し施工に関して、移動作業車などに以下の4点の対策を行った。

#### (1) 移動作業車の給熱養生

透明樹脂パネル・断熱シート・屋根を用いて移動作業車に仮囲いを設置し、移動作業車1基あたり8台のジェットヒーターで仮囲いの内部を給熱養生した。その際、仮囲い端部まで確実に閉塞し気密性を高め（写真-4、5）、熱が



写真-4 張出し施工の養生状況



写真-5 仮囲い端部

外部に漏れるのを防止するとともに、酸欠防止対策として酸素濃度測定を日々行った。コンクリート養生温度管理記録の事例を図 - 5 に示す。急激にコンクリート温度を低下させるとひび割れが発生しやすいため、養生温度をタブレット端末で確認できるようにするとともに、温度異常時はタブレット端末に警報メールが届くようにして、即座に現場点検を実施した。

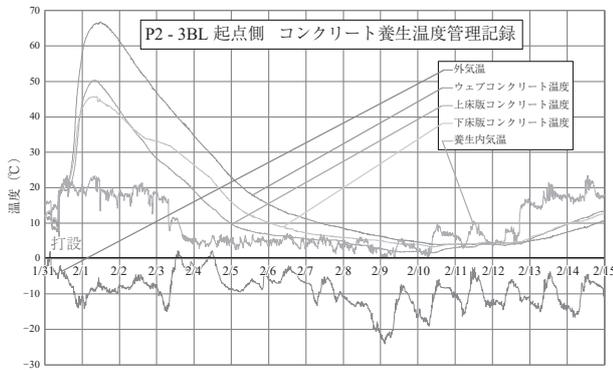


図 - 5 コンクリート養生温度管理記録

(2) コンクリートの保温養生

脱型したコンクリート全周（上下面および鉛直面）に気泡緩衝シートを設置して、移動作業車による仮囲いが次BL以降に移動したのちも引き続き保温養生を行った（写真 - 4）。

(3) コンクリートの初期強度管理

コンクリート積算温度から初期強度を推定し、リアルタイムで脱型および緊張が可能となる強度を確認した（写真 - 6）。冬期はコンクリート打込み後2日目の8時からの緊張作業が強度不足で延期となることが多かったが、リアルタイムで強度推定を行うことで通常の圧縮強度試験をタイミング良く実施でき、所定の強度をダブルチェックしたのち、10時・13時・15時などからの緊張作業が可能となり、強度未確認によるロス時間を低減できた。

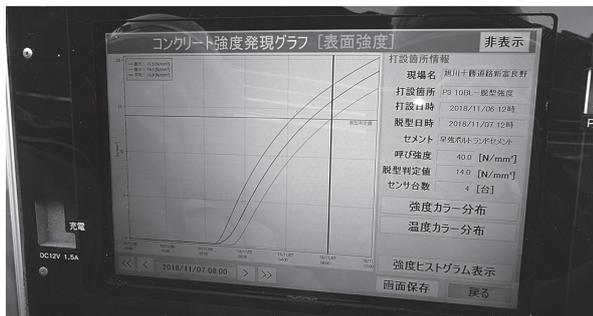


写真 - 6 強度確認状況

(4) 給油時の漏油対策

河川への灯油の流出防止対策として、移動作業車内のジェットヒーターへの給油時の漏油リスクを低減する方法を採用した。一般的には、オイルサーバーなどを用いて橋脚足場から橋面上および移動作業車内の燃料タンクまで設置した給油ホースを伝い、給油していく。しかし、この方法

では1施工箇所あたり最大で約100mの給油ホースが必要になるため、ホースの破損により漏油するリスクが高くなる。そこで、移動作業車の作業台に開閉ハッチ（写真 - 7）を設けて、給油時は燃料車から直接移動作業車内の燃料タンクに給油できるようにした。万一の移動作業車内での漏油に備えて、移動作業車の作業台を全面シート養生することで、灯油の河川内への流出を防止した。

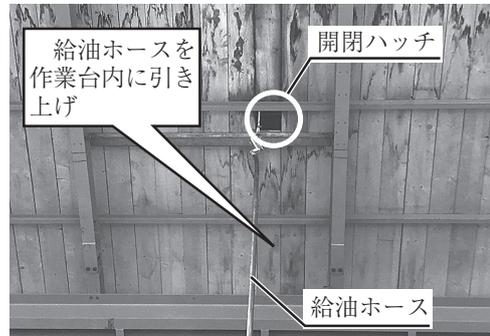


写真 - 7 開閉ハッチ

4.3 橋面高さ管理と型枠高さ計測での生産性向上

まず橋面高さの管理について、これまでも橋面に設置したトータルステーションで各測定点に設置した反射プリズムを計測する自動計測技術は存在していたが、張出し架設工法では橋面上両端に移動作業車（冬期は仮囲いが必要）が設置されており、またそのほか各種資材を橋面に仮置きする必要もあり、直接視準できない状況が頻発して、計測または作業に支障が出ていた。そこで本工事では、トータルステーションにより直接視準できない箇所を橋面に設置した傾斜計により補間して計測する「①トータルステーションと傾斜計を複合した橋面高さ自動計測技術」を開発した。また、冬期施工中はトータルステーションの反射プリズムが積雪により視準できないため、橋面に設置した傾斜計のみで橋面高さを計測する「②傾斜計を用いた橋面高さ自動計測技術」を開発した。

次に張出し施工の型枠高さ計測について、従来はオートレベルを用いて型枠高さを調整してきたが、本工事では移動作業車内の型枠（メタルフォーム）に傾斜計を設置して上記の「橋面高さ自動計測技術」と連動させることにより、型枠の高さを自動で計測できる「③移動作業車の型枠高さ自動計測技術」を開発した。以下に上記3つの技術について詳述する。

(1) トータルステーションと傾斜計を複合した橋面高さ自動計測技術

本技術では、橋面上約20mごとに設置した反射プリズムをトータルステーションで自動計測し（写真 - 8）、さらに約7mごとに設置した傾斜計の計測値を用いて（写真 - 9）、約3.5mごとにある測定点（カットライン）の高さを算出した。算出した計算値はたわみ管理システムに連動させ、タブレット端末に瞬時に施工状況を表示するIoTシステムを構築した。システムの概略図を図 - 6 に示す。 $\alpha \cdot \beta$ の反射プリズム（設置間隔約20m）をトータルステーションで計測した値を基準値とし、そののち各測定点の高さ



写真 - 8 橋面高さ計測状況

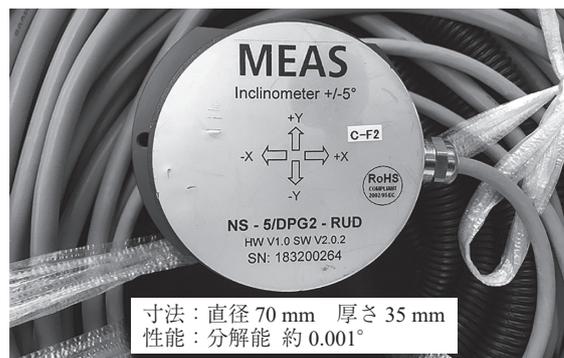


写真 - 10 使用した傾斜計



写真 - 9 橋面傾斜計設置状況

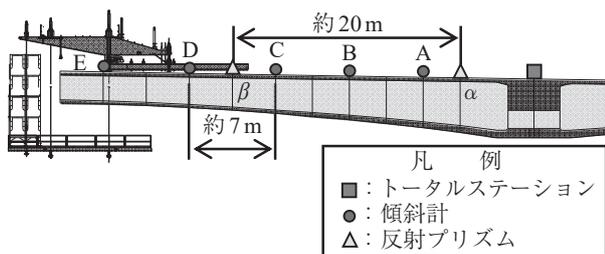


図 - 6 システム概略図

を A ~ E の傾斜計（設置間隔約 7 m）で補間した。本システムにより得られた橋面高さの精度は、毎 BL オートレベルの計測値と比較したが、大きな差異なく、高精度に算出されていた。また、トータルステーションにより 3 次元的な橋面変位を計測することで斜角を有する張出し施工中に生じる主桁のねじりなどを管理することができたため、架設精度が向上した。

### (2) 傾斜計を用いた橋面高さ自動計測技術

本技術では、柱頭部中央の橋面高さを不動点とし、橋面上約 7 m ごとに設置した傾斜計（図 - 6 の A ~ E）のみで各測定点の高さを算出した。使用した傾斜計を写真 - 10 に示す。傾斜計の稼働環境は、 $-40^{\circ}\text{C}$  ~  $85^{\circ}\text{C}$  であり、最低気温が  $-30^{\circ}\text{C}$  程度まで低下する本橋の施工場所においても不具合なく適用できた。本システムにより得られた橋面高さの精度は、毎 BL オートレベルで得た計測値と比較したが、「トータルステーションと傾斜計を複合した橋面高さ自動計測技術」に遜色なく、本工事の冬期における橋面高さ管理に大きな優位性を示すことができた。なお、① A・C・E の傾斜計を使用し設置間隔約 14 m として橋面高さを計算した場合と ② A・D の傾斜計を使用し設置間隔

約 20 m（反射プリズムと同間隔）として橋面高さを計算した場合、どの程度計測精度に影響するか検討した。検討の結果、A ~ E の傾斜計をすべて使用した場合と比べて①の場合は平均約 5 mm の誤差、②の場合は平均約 10 mm の誤差が発生することを確認した。

### (3) 移動作業車の型枠高さ自動計測技術

本技術では、移動作業車の型枠梁上に設置されたメタルフォームに傾斜計を設置し、型枠の傾斜量を計測した（写真 - 11）。計測した型枠傾斜量と「橋面高さ自動計測技術」によって得られる張出し先端の高さを連動させることで管理断面の型枠高さを算出した。また「橋面高さ自動計測技術」と同様に、型枠高さをリアルタイムでタブレットに表示できる IoT 化を図ることで、目標とする型枠高さとの比較をできるようにした（写真 - 12、図 - 7）。

本技術の開発にあたり、① 型枠上で作業する際に発生する振動が計測値にどのように影響するのか、② 型枠は固定端と自由端があるため傾斜計の設置位置によって計測値が



写真 - 11 型枠傾斜計設置状況



写真 - 12 型枠セット状況

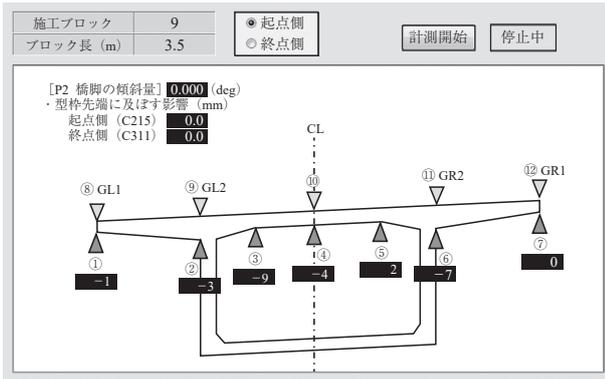


図 - 7 型枠高さ計測状況

異なるか、の2点について検討した。

検討の結果、①に対して、メタルフォームに設置した傾斜計には大きな振動は発生しておらず、10秒間の計測平均（2秒ごとに計測したため、5つの計測値の平均）を採用とすることで十分な精度を確保できることを確認した。

②に対して、型枠セット後の型枠梁は既設側がコンクリートに固定され、他方はピン構造となっているため、型枠を側面方向から見ると直線ではなく複雑な曲線形状になると考えた（図 - 8）。そのため、型枠に設置する傾斜計は1列あたり4個とし、それぞれ計測した傾斜量の積算により型枠高さを算出することとした。本システムの精度検証をオートレベルで得た計測値との比較にて毎BL行った結果、自動計測により計測した型枠高さは、良好な精度で実施できていることを確認できた。また、1列あたり4個設置した傾斜計の数を減らしても計測精度を保つことができるか検討した。検討の結果、本橋の3.5m張出しBLにおいては、図 - 8におけるA・Cの傾斜計のみを使用しても同程度の精度を保つことができることを確認した。

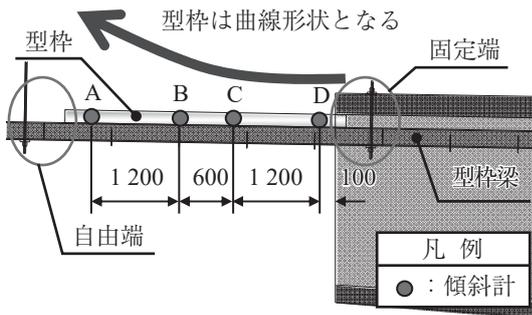


図 - 8 型枠セット時の側面図

(4) ま と め

「橋面高さ自動計測技術」について、開発した2つの技術は本橋の橋面高さ管理に対して有用であることを確認できた。それぞれの技術の特徴として、「① トータルステーションと傾斜計を複合した橋面高さ自動計測技術」は橋面高さ管理だけでなく、3次元的な橋面変位を計測することができる。一方、「② 傾斜計を用いた橋面高さ自動計測技術」は積雪や橋面の資材状況などに影響を受けず計測することができる。これらの技術を開発することにより、従来どお

りのオートレベルによる測量を減じることができると、生産性を40%向上させることが可能となった（表 - 2）。

次に、「③ 移動作業車の型枠高さ自動計測技術」について、いつでも誰でも型枠の高さを把握して施工管理ができるようになり、施工管理者の測量業務を減じることができると、生産性を25%向上させることが可能となった（表 - 3）。また、型枠技能者についても施工管理者の指示を待つことなく型枠高さを調整できるようになったため、作業効率が向上した。

これらの技術における今後の方針として、橋梁形状・支間長・橋脚高さ・型枠の種類などの現場条件によって、精度を確保するために必要な反射プリズムや傾斜計の数が変化することが予想されるため、さまざまな条件で計測・検討を行い、汎用性を高めていく必要がある。

表 - 2 従来と橋面高さ自動計測技術の比較

項目	延べ時間 (張出し1BLあたり)	比率
従来の手法	10	1.00
開発した手法	6	0.60

表 - 3 従来と型枠高さ自動計測技術の比較

項目	延べ時間 (張出し1BLあたり)	比率
従来の手法	8	1.00
開発した手法	6	0.75

5. 側径間施工

本工事では、A1に延長29.0mの側径間部を有していた。A1側径間の施工はP1張出し施工終了後に梁支柱式固定支保工により架設した。なお、施工時期は前述のとおり冬期を避けて行った。

側径間の施工にあたり、地盤を整形して支保工組立てヤードとクレーンヤードを確保した。支保工基礎地盤は地盤改良したのちに、平板載荷試験およびスウェーデン式サウンディング試験を実施して所定の地盤支持力を確認した。そのうち基礎コンクリートを打ち込み、支柱式支保工（50t支柱）を設置した。梁材にはH-400（最大長さ15m）を採用し、梁上に作業床を確保したのち、軽量支保工・型枠・鉄筋・PCを組み立てた（写真 - 13）。コンクリートは2ロットに分割して打ち込み、下床版とウェブを1ロット、上



写真 - 13 側径間施工状況

床版を2ロットで施工した。コンクリートの配合は、柱頭部と同様に普通セメントに膨張材を添加した「40-12-20N（膨張材配合）」とした。

## 6. 中央閉合施工

### 6.1 概要

本工事では、P1-P2間・P2-P3間・P3-P4間の合計3箇所の中央閉合を施工した。閉合順序は①A1側径間閉合後に、②P1-P2間中央閉合、③P2-P3間中央閉合、④P3-P4間中央閉合の順番に実施する計画であった。また、同時期にB橋工区ではA2側径間、P6-P7間中央閉合、P5-P6間中央閉合の順番で閉合を実施し、最後にP4-P5間中央閉合をB橋工区で施工して主桁が完成した。なお、A橋工区の中央閉合コンクリートの配合は、柱頭部工・側径間施工と同様に「40-12-20N（膨張材配合）」とし、一度に上下床版およびウェブを施工した。

### 6.2 中央閉合施工での生産性向上

#### (1) 中央閉合2箇所同時施工

中央閉合部の架設工法について、当初計画の吊支保工から移動作業車に変更した（写真-14）。また、閉合順序について、当初の計画では②P1-P2間中央閉合のコンクリート打込み後、所定の強度を確認してから緊張を行い、③P2-P3間中央閉合の施工へと移るが、工程短縮を目的として、②P1-P2間中央閉合と③P2-P3間中央閉合の施工を同時に行った。本施策を実施するにあたり、P2橋脚の張出し施工終了後に移動作業車をそのままP1-P2間・P2-P3間中央閉合部まで前進させ、中央閉合部の2箇所同時打設およびスパンケーブルの同時緊張を実施するように上げ越し計算を変更した。なお、中央閉合部の同時施工ではコンクリート打込み時に各閉合部に施工管理者を配置し、それぞれの打込み量に隔たりがないこと、橋面高さの変化に異常がないことを確認しながら施工を進めた。緊張工においては、それぞれの閉合部に導入する緊張力に差が生じると発生する想定外の応力を抑制するために、導入する緊張力に差が生じないように管理しながら施工した。

これらの取組みにより、②P1-P2間中央閉合と③P2-P3間中央閉合の施工を同時に施工することができ、当初の想定より倍のスピードで中央閉合工を進めることができた。副次的効果として、移動作業車を用いて中央閉合工を実施することにより、重量物の架設となる吊支保工の組立て解体作業を省略できたため、墜落転落災害・クレーン災害の

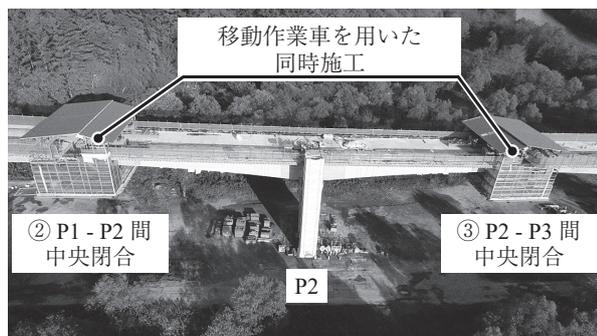


写真-14 中央閉合の同時施工状況

発生リスクが低減した。さらに、中央閉合を2箇所同時施工とすることにより、橋脚に作用するアンバランスモーメントの発生を抑制でき、橋面高さでの不具合発生抑制の一助となった。

#### (2) 内スラブの施工

中央閉合箱桁内部の内スラブ組立てにおいて、一般的に用いられる内部支保工を用いた施工（写真-15）からペコビームを用いた施工へと変更した（写真-16）。ペコビームを採用して内スラブを組み立てることで、箱桁内の支柱本数を低減することができ、型枠組立て解体時・コンクリート打込み時などの作業効率向上に貢献した。



写真-15 一般的な内部支保工の施工状況



写真-16 ペコビームの施工状況

## 7. そのほか

### 7.1 地覆壁高欄の試験施工

地覆壁高欄はコンクリート橋の中でも美観が求められる工種の1つである。道路供用後に走行車から唯一出来栄を確認することができ、寒冷地では凍結融解作用や凍結防止剤散布の影響をもっとも受ける部位である。そのため、コンクリート構造物の長寿命化の観点から、緻密なコンクリート表面を有する壁高欄が求められている。一方、壁高欄の内側は傾斜しており、その影響でコンクリート打込み時の表面気泡除去が困難な部位でもある。本橋では、実際に施工するコンクリートの配合「24-8-20N（膨張材配合）」を用いて実施工前に試験施工を実施して、もっとも美観の優れた施工方法を検討した。試験施工の実施状況を写真-17に、試験結果を写真-18に示す。

試験施工の結果より、使用するコンクリートに適した剥離材を選定するとともに、内型枠のハンチ部分には透水型



写真 - 17 壁高欄試験施工状況

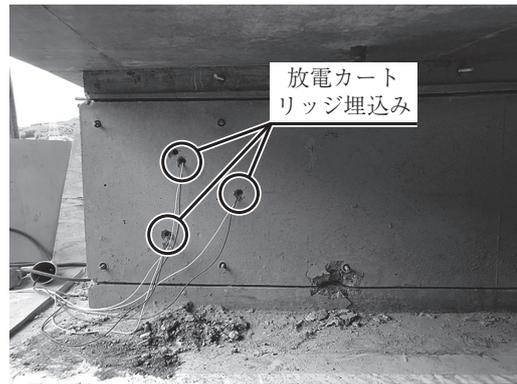


写真 - 19 放電破碎前



写真 - 18 壁高欄試験結果



写真 - 20 放電破碎後

枠を採用することとした。また、あと追いで実施する振動締固めのタイミングが早すぎた場合、表面気泡が抜けにくくなるとともにセパレータ付近の沈降ひび割れを確認したため、本施工ではあと追い振動締固めのタイミングを十分検討した。

### 7.2 放電破碎工法による仮支承解体

本橋は連続桁であるため、張出し時や地震時のアンバランスモーメントと水平力に対して、柱頭部と橋脚を仮固定するための仮支承コンクリートを施工した。仮支承は閉合後の構造系が安定したタイミングで撤去した。この撤去作業は上部に橋桁があり作業空間が狭いため、プレーカーなどの大型機械の投入が難しいことから人力研りに一般的で、また、工程上クリティカルになるため安全で効率的な施工方法が望まれていた。

そこで、本工事では、仮支承撤去に放電破碎工法を採用した。放電破碎工法とは、対象構造物を穿孔し放電カートリッジを埋め込んだのち、3000Vの電圧を作用させることで放電カートリッジ内の放電チップの溶融気化によって反応液が燃焼し、1GPa程度の超高压が発生する爆燃反応で破碎する工法である。本工事では、ワイヤソーで予め仮支承上下の縁を切り、破碎時に本体構造物に影響が及ばないようにしたのち、直径16mm、深さ200mm程度の穴を穿孔し、カートリッジを埋め込んだ(写真-19)。そののち、仮支承周囲を防爆シートなどで養生してから、3000Vの電圧を作用させて破碎作業を行った。なお、破碎作業は繰り返し実施することになるため(写真-20)、前破碎に

より生じたガラが次破碎時に飛散することを防ぐため、清掃は入念に行った。

放電破碎工法を採用した結果、近接した橋桁や橋脚などの構造物の品質を損なうことなく仮支承撤去を完了できた(写真-21)。従来の一般的な人力研りに比べて狭い空間内での作業を大きく削減したことで、災害発生のリスクを低減することができ、生産性が大幅に向上した(表-4)。

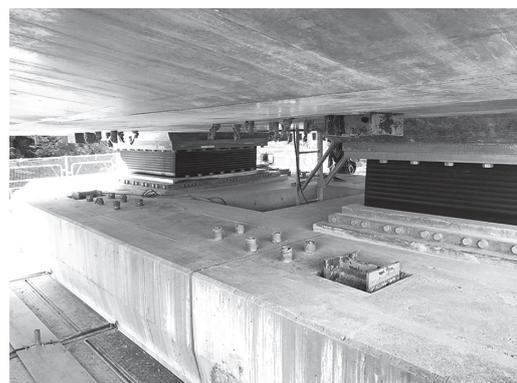


写真 - 21 仮支承撤去完了状況

表 - 4 従来と放電破碎工法の比較

項目	人工 (1橋脚あたり)	比率
従来の手法	72	1.00
放電破碎工法	33	0.46

表 - 5 採用した ICT 技術

ICT 技術の内容	特徴
写真・出来形・品質管理システム	・タブレット端末で写真撮影・出来形品質管理値入力可能 ・パソコンと連動しており書類作成業務が大幅に低減
コンクリート養生温度管理システム	・コンクリート養生温度をリアルタイム表示 ・異常発生時はメールで通知 (4.2 参照)
コンクリート初期強度管理システム	・コンクリート積算温度から初期強度を推定 ・専用パソコンで推定強度をリアルタイム表示 (4.2 参照)
橋面型枠自動測量システム	・トータルステーションと傾斜計を併用して橋面高さの変位測量と型枠設置測量を自動化 (4.3 参照)
3次元 CIM	・躯体構造線・鉄筋・PC などの 3 次元モデルを作成 ・干渉確認を行い施工前に対策を検討
緊張管理システム	・緊張ポンプの圧力計示度 (0.1 MPa) とケーブル伸び量 (0.1 mm) の自動計測・グラフ表示
グラウト管理システム	・グラウト注入圧力・注入速度・注入温度を 1 秒ごとに自動計測し、データを集約・グラフ表示
自然災害防災システム	・現場ピンポイントの気象情報をリアルタイムで確認 ・注意報・警報および災害発生時はメールで通知
インターネットを利用したデータ保管	・事務所共有データをクラウドストレージに保管 ・タブレット端末でデータ閲覧・上書き可能
メッセージアプリ	・現場職員・協力会社職員のタブレット端末を用いて複数人数で情報発信・共有可能 (写真対応)

また、使用する材料は非火薬類のため、保管・運搬時などに特別な設備が不要で取扱いが容易であった点も利点として挙げる。一方、破碎時に衝撃音が発生するため、施工場所の周辺環境への配慮および施工計画時の検討が必要であった。

### 7.3 ICT 技術の活用

本工事では、表 - 5 に示す ICT 技術を積極的に活用し、全項目で生産性向上を図ることができた。ICT 技術の利点として、「写真・出来形・品質管理システム」では、電子黒板と出来形・品質管理が統合されたシステムを活用することで、これまで煩雑であった写真管理や出来形・品質管理などの検査書類を作成する時間を大幅に短縮することができた。「3次元 CIM」モデルの作成では、鉄筋・PC 鋼材などの干渉を確認し、施工前に対策を検討することができた。「緊張管理システム」と「グラウト管理システム」では、データロガーとパソコンを連動させて使用することで、緊張管理図表や印字シートなどのペーパーレス化を実現した。「自然災害防災システム」では、河川敷地内工事特有となる増水時の資機材の搬出作業に関して、河川水位・上流ダム放流量・流域の降雨情報などを集計してパソコンやタブレット端末で表示できるようにし、事前に河川が増水する可能性を把握して資機材搬出作業に余裕をもたせた。また、警報発令時などはメールで災害情報が届くようにした。「インターネットを利用したデータ保管」と「メッセージアプリ」では、工事事務所共有データをクラウドストレージに保管していつでもタブレット端末で情報を確認できるようにするとともに、元請職員・協力会社職員間で写真を含めた必要な情報の共有を実施した。

一方、改善点として、現時点ではそれぞれ独立したシステムでありデータ収集方法が異なるため、データ収集・選択・取纏め・表示に一定の手間を要した。今後、これらシ

ステムの一元化を実施して 1 台の制御パソコンへのデータの集約を図るとともに、収集したデータを簡易に表示・提出できるソフトの開発に取り組みたい。

## 8. おわりに

本橋は、これまでに記載した生産性向上の取組みを積極的に実施することで、4 ヶ月の工程短縮を実現し、2019 年 10 月に無事完成を迎えた。完成時の A 橋工区の全景写真を写真 - 22 に示す。本稿に記載した生産性向上の取組みが今後の同種工事の参考になれば幸いである。

最後に、本橋の施工にあたりご指導・ご支援を賜りました関係各位に深く感謝いたします。



写真 - 22 完成写真

### 参考文献

- 1) 丸田, 菊地, 山崎, 坪倉: 新富良野大橋 A 橋の施工, 第 28 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.69-72, 2019.11
- 2) 森山, 菊地, 山崎, 大場, 富永, 大岡, 坪倉, 丸田: 新富良野大橋 A 橋の施工, 土木建設技術発表会 概要集, pp.76-82, 2019.11

【2019 年 11 月 25 日受付】